

面向具身智能的新工科人才培养与实践 ——以“四轮足机器人”为例

陈震, 董航, 迟书凯, 牛炯, 陈家林
中国海洋大学工程学院, 山东 青岛 266100
DOI: 10.61369/TACS.2026060041

摘要 : 随着大模型与机器人技术的深度融合, 具身智能对新工科人才培养提出了复合能力要求, 而传统教学载体 (如智能车) 主要覆盖经典控制与嵌入式能力, 难以支撑感知-决策-执行全链路培养。本文以四轮足机器人为教学载体, 构建面向具身智能的分层培养方案: 通过对比分析智能车与四轮足机器人的技术栈差异, 论证后者的载体适切性; 对四轮足机器人进行四层技术解构, 建立与课程体系的教学映射; 设计“基础层-控制层-智能层-系统层”四阶段递进培养模式, 绘制阶梯式知识图谱; 并给出一个 16 学时教学案例以说明方案的可操作性。本文采用文献分析与方案设计方法, 为具身智能方向的课程体系建设提供参考框架。

关键词 : 具身智能; 新工科; 四轮足机器人; 分层培养; 知识图谱

Talent Training and Practice of Emerging Engineering Oriented to Embodied Intelligence—Taking the Four-Wheeled-Legged Robot as an Example

Chen Zhen, Dong Hang, Chi Shukai, Niu Jiong, Chen Jialin
Ocean University of China, Qingdao, Shandong 266100

Abstract : With the in-depth integration of large model and robotics technologies, embodied intelligence has put forward requirements for comprehensive competencies in the talent training of emerging engineering. Traditional teaching carriers such as intelligent vehicles mainly focus on classic control and embedded capabilities, and can hardly support the whole-link training of perception, decision-making and execution. Taking the four-wheeled-legged robot as the teaching carrier, this paper constructs a hierarchical training scheme oriented to embodied intelligence. By comparatively analyzing the differences in technical stacks between intelligent vehicles and four-wheeled-legged robots, the adaptability of the latter as a teaching carrier is demonstrated. The four-wheeled-legged robot is deconstructed at four technical levels, and the teaching mapping with the curriculum system is established. A four-stage progressive training mode of "basic layer - control layer - intelligent layer - system layer" is designed, and a stepped knowledge graph is constructed. Meanwhile, a 16-class-hour teaching case is presented to verify the operability of the scheme. Adopting the methods of literature analysis and scheme design, this paper provides a reference framework for the curriculum system construction of embodied intelligence.

Keywords : embodied intelligence; emerging engineering; four-wheeled-legged robot; hierarchical training; knowledge graph

引言

2024年以来, 以大语言模型为代表的人工智能技术与物理世界的交互需求日益迫切, 具身智能 (Embodied Intelligence) 从学术概念迅速走向工程实践。郑南宁等指出, 具身智能强调智能体通过物理载体与环境的动态交互, 在感知、决策与行动中不断学习和进化。穆尧等从数据、模型、系统与评测四个维度梳理了具身智能的技术演进。然而, 当前工科人才培养体系在支撑具身智能产业需求方面仍存在明显不足。

当前高校机器人相关教学仍以传统嵌入式开发和经典控制理论为主线, 教学载体以智能小车为代表。全国大学生智能汽车竞赛自2006年创办以来, 已形成成熟的赛事体系^[1], 但其技术栈 (光电循迹、PID调参、单片机编程) 本质上是对经典控制理论的验证训练, 与具身智能所要求的多模态感知、自主决策、强化学习等核心能力存在显著断层。

四轮足机器人兼具足式运动的地形适应性和轮式运动的高效率, 且在成本可控性和技术成熟度上较人形机器人更具优势, 具备作为具身智能教学核心载体的条件。本文采用文献分析与方案设计方法, 探索面向具身智能的新工科人才培养路径。

一、具身智能专业人才需求分析

具身智能区别于传统人工智能的关键在于”身体性”，即认知不仅是表征计算，而是身体与环境的动态耦合。这一特性决定了具身智能人才需要具备”感知－决策－执行”三位一体的复合能力：多模态感知融合、任务规划与强化学习驱动的决策、多自由度运动控制以及 sim-to-real 系统集成。

传统工科教育按学科划分，机械、电子、控制、计算机各司其职。而具身智能要求工程师具备跨学科视角，这种”硬件＋控制＋AI”的复合需求是传统单一学科培养模式难以满足的。从教育理论看，CDIO 工程教育理念强调”做中学”，与具身智能的闭环实践高度契合；Bloom 认知分类为递进式培养提供依据；OBE 成果导向理念要求从产业能力需求反向设计课程体系。目前高校机器人课程仍以传统控制为主线，对深度学习、强化学习覆盖不足，教学载体单一，缺乏从仿真到实物的完整工程经验。

二、教学载体对比：智能车 vs 四轮足机器人

为论证四轮足机器人作为具身智能教学载体的适切性，本章从技术栈覆盖、能力培养维度等方面，将其与当前高校广泛应用的智能车教学载体进行系统对比。

智能车竞赛的技术栈主要包括：感知层（光电 / 摄像头）、决策层（规则驱动）、控制层（PID、模糊控制）、硬件层（单片机开发），属于”确定性环境下的精确控制”范式^[1]。四轮足机器人具有四条腿且每条腿末端装有轮子，杨广等验证了其在复杂地形中俯仰角和航向角变化可控制在 ± 0.1 rad 以内。陈明方等^[2]设计了动力可切换型轮足机器人腿部结构并实现了足端轨迹规划。面向具身智能的四轮足机器人竞赛可参照 RoboMaster 等赛事经验设计多个维度：自主导航赛道、运动控制挑战、智能交互任务和 sim-to-real 迁移赛。

表1 智能车与四轮足机器人教学载体对比

对比维度	智能车	四轮足机器人
运动环境	结构化赛道（平面）	非结构化地形（三维）
感知模态	单一（光电 / 视觉）	多模态（视觉＋力觉＋IMU＋激光雷达）
决策模式	规则驱动（状态机）	数据驱动（RL/IL）
控制自由度	2-3 自由度（速度＋转向）	12+ 自由度（全身协调）
控制算法	PID、模糊控制	MPC、WBC、强化学习策略
AI 技术覆盖	传统机器学习	深度学习、强化学习、大语言模型
系统集成度	嵌入式单系统	嵌入式＋GPU＋ROS 多系统协同
仿真工具链	有限（Matlab/Simulink）	完整（Isaac Gym/MuJoCo＋sim-to-real）
覆盖课程数	3-4 门	8-10 门
对标能力层次	经典控制＋嵌入式开发	具身智能全链路（感知－决策－执行）

综上，智能车在经典控制与嵌入式能力训练方面具有成熟优势，而四轮足机器人在技术栈覆盖面、系统复杂度和与产业前沿的契合度上更具潜力。两者并非替代关系，而是面向不同培养阶段和目标的互补载体。

三、四轮足机器人的技术解构与教学映射

为建立四轮足机器人与课程体系的教学映射，本章从硬件层、运动控制层、感知决策层和智能层四个层次对其技术架构进行解构，分析各层的核心技术及其对应的知识需求。

硬件层包括关节驱动器、传感器模块（IMU、力传感器、深度相机）和计算平台。陈大林^[3]基于 STM32 平台提出了双轮足自平衡机器人的设计方案并应用于实践教学。该层对应嵌入式系统、传感器原理等课程。

运动控制层包括步态规划、全身运动控制（WBC）和模型预测控制（MPC）。杨利辉等^[4]提出了基于双层 MPC 的双轮足机器人运动控制方法。该层对自动控制原理、机器人动力学等课程提出明确知识需求。

感知决策层包括 SLAM、视觉感知、导航规划等。周江盟等提出面向 VLA 的多模态感知统一框架。该层对应计算机视觉、路径规划等课程。

智能层包括强化学习策略训练、sim-to-real 迁移、多模态大模型任务理解等。林谦等^[5]指出仿真到现实的迁移仍面临诸多挑战。该层对应机器学习、强化学习等课程。

表2 四轮足机器人技术栈与课程映射

技术层次	核心技术	对应课程
硬件层	电机驱动、传感器、嵌入式	嵌入式系统、传感器原理
运动控制层	步态规划、WBC、MPC	自动控制原理、机器人学
感知决策层	SLAM、视觉、导航	计算机视觉、路径规划
智能层	RL、sim-to-real、大模型	机器学习、强化学习

四、分层培养模式设计

基于上述技术解构，结合 CDIO 工程教育理念和 Bloom 认知分类理论，本文设计“四阶递进”培养模式。该模式遵循 OBE 成果导向原则，以具身智能岗位所需的核心能力为终点目标，反向推导各阶段的培养内容与考核标准。四个层次对应 Bloom 认知分类中从“应用”到“创造”的递进：基础层侧重记忆与理解，控制层强调应用与分析，智能层聚焦分析与评价，系统层指向综合创造。

1) 基础层（本科低年级）：掌握嵌入式开发和传感器使用技能，完成机器人组装调试与基础控制。

2) 控制层（本科高年级）：掌握正逆运动学建模、步态生成、MPC 和 WBC 设计，实现基础运动控制器。

3) 智能层（高年级本科生 / 研究生）：掌握强化学习策略训练与 sim-to-real 迁移技术，能在仿真中训练策略并迁移至实物。

4) 系统层（研究生 / 竞赛团队）：具备全系统集成能力，能

独立设计四轮足机器人的完整智能系统。

该模式的核心特征是”以项目驱动、以平台支撑”：每一层都以四轮足机器人作为统一载体，具有知识连贯性、能力递进性和载体统一性三方面特点，符合 CDIO”做中学”理念。

阶梯式知识图谱与人才进阶路径如图2所示。

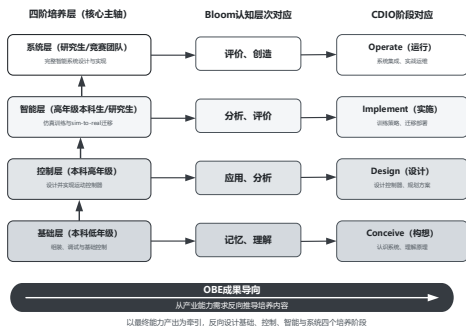


图1 四轮足“阶梯式知识图谱与人才进阶路径图”

五、教学案例——“从站立到自主行走”

为验证上述培养模式的可操作性，本文设计一个16学时的实践教学案例，面向已具备基础编程能力的本科高年级学生。该案例以”从站立到自主行走”为主线，覆盖硬件认知、运动控制、强化学习和系统集成四个递进环节。

先修课程要求：学生需修完 C/C++ 程序设计、自动控制原理和概率论与数理统计三门课程；建议同时具备 Python 编程基础和 Linux 操作系统基本使用能力。

实验资源配置：每组（2-3人）配备四轮足机器人实验平台1台（含关节驱动器、IMU、深度相机）、搭载GPU的工控机1台、Isaac Gym 仿真环境许可，以及预配置的 ROS 开发环境。

通过16学时的理论与实践结合教学，使学生完成四轮足机器人“从站立到自主行走”的完整开发流程，涵盖嵌入式基础、运动控制、强化学习和系统集成四个环节。



图2 “从站立到自主行走” 16学时教学案例流程

1) 阶段一：硬件认知与嵌入式基础（4学时）——完成机器人上电调试，读取编码器和 IMU 数据，实现单关节位置闭环控制。

2) 阶段二：运动控制实现（4学时）——推导正逆运动学，实现站立平衡控制和简单行走步态，记录关节角度跟踪曲线。

3) 阶段三：强化学习策略训练（4学时）——学习 RL 基本概念和 Isaac Gym 仿真环境使用，加载预训练策略验证不同地形下的行走效果，由教师演示 sim-to-real 迁移流程。完整策略训练安排在课外以项目作业形式完成。

4) 阶段四：系统集成与演示（4学时）——基于已有感知和控制模块完成 ROS 集成，在室内场景实现点到点自主导航演示。

考核方式采用“过程性评价+成果性评价”相结合的方式：过程性评价占40%（含课堂参与、实验记录、阶段汇报），成果性评价占60%（含最终系统演示效果、代码质量、总结报告）。

六、结论与展望

本文围绕具身智能方向的新工科人才培养问题，提出以四轮足机器人作为核心教学载体的培养方案。通过与智能车的对比分析，论证了四轮足机器人在技术栈覆盖面和能力培养深度上的优势。在此基础上，对四轮足机器人进行了四层技术解构，建立了与课程体系的映射关系，并设计了“基础层-控制层-智能层-系统层”四阶递进的培养模式，绘制了阶梯式知识图谱与人才进阶路径图。16学时教学案例的设计为方案的落地实施提供了初步参考。

本研究的局限性在于：培养方案尚处于设计阶段，未经教学实践验证；教学案例的可行性需结合具体院校的硬件条件和学生基础进一步评估。后续工作将从以下方面展开：一是开展小范围教学试点，收集学生反馈以迭代优化培养方案；二是探索硬件成本控制方案，如采用开源硬件设计和校企共建实验室模式；三是参照全国大学生智能汽车竞赛的成功经验，研究面向具身智能的“轮足机器人挑战赛”赛制设计，推动形成“课程-项目-竞赛”三位一体的培养生态^[12]。

参考文献

[1] 陈震, 牛炯, 陈家林, 等. 基于智能车竞赛的创新实验平台设计 [J]. 电子技术与软件工程, 2020(12).

[2] 陈明方, 胡新坤, 张永霞, 等. 轮足式动力切换四足机器人建模及其足端轨迹规划 [J]. 中山大学学报 (自然科学版中英文), 2026, 65(1): 33-42. DOI: 10.13471/j.cnki.acta.snus. ZR20250083.

[3] 陈大林. 基于 STM32 的双轮足自平衡机器人设计与教学实践 [J]. 南京信息工程大学学报, 2025.

[4] 杨利辉, 关海杰, 韩奋凯, 等. 基于双层 MPC 的双轮足机器人运动控制 [J]. 兵工学报, 2025.

[5] 林谦, 余超, 伍夏威, 等. 面向机器人系统的虚实迁移强化学习综述 [J]. 软件学报, 2024, 35(2): 711-738.